

# 평판형 유도결합 플라즈마 장치의 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 방전에 대한 공간 평균 전산모사

이원기 · 권득철 · 윤남식\*

충북대학교 전기공학과, 청주 361-763

(2009년 10월 22일 받음, 2009년 11월 20일 수정, 2009년 11월 22일 확정)

평판형 유도결합 플라즈마 장치의 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 방전에 대한 공간 평균 전산모사가 이루어졌다. SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 방전에서 발생하는 전자, 양이온, 음이온, 중성종, 그리고 라디칼들에 대한 공간 평균된 유체 방정식을 기반으로 하고 있으며, 비정상 표피효과 (Anomalous skin effect)를 고려한 비충돌 전자기열 모델을 적용하여 흡수되는 파워량을 결정하였다. SiH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>의 가스 주입비율, 파워, 그리고 압력을 변화시키며 각각에 대한 하전입자, 중성종 및 라디칼들의 밀도 변화와 전자온도 의존성을 조사하였다.

주제어 : 유도결합 플라즈마, 공간 평균 전산모사, 비정상 표피효과

## I. 서 론

플라즈마 장치 중 ICP (Inductively Coupled Plasma) 장치는 구조의 간단함에도 불구하고 고밀도의 균일한 플라즈마를 낮은 공정 압력에서 효율적으로 발생시켜 여러 가지 미세 공정에 응용되고 있다 [1]. SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 가스는 박막 증착을 위해 사용되고 있으며, 특히 방전 중 생성되는 SiH, SiH<sub>2</sub>, 그리고 SiH<sub>3</sub> 라디칼들이 반도체박막 증착에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다 [2]. 그럼에도 불구하고 이러한 라디칼들에 대한 적절한 진단방법이 개발되어 있지 않은 상황이다. 따라서 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 방전에서 발생하는 주요 라디칼들의 가스주입 비율, 파워, 그리고 압력 변화와 같은 여러 조정 변수에 대한 의존성 조사가 필요하다.

본 연구에서는 ICP장치에서 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 방전에 대한 전산모사가 이루어졌다. SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 방전에서 발생하는 하전입자, 라디칼, 그리고 중성종들의 밀도는 공간 평균된 유체방정식을 사용하였으며, 전자의 파워 흡수량은 비정상 표피효과를 포함한 2차원 전자기열 모델을 이용하여 결정하였다 [3,4].

2장에서는 모델링에 고려된 기체종과 화학반응 계수, 사용된 기본 방정식에 대해 소개하였으며, 3장에서는 전산모사 결과에서 알 수 있는 사실을 정리하였다. 4장에서는 결과를 종합하여 정리하였다.

## II. 기본 방정식과 화학반응

### 1. 1 공간 평균 모델링

원칙적으로 시공간적인 전자와 각 종들에 대한 밀도, 온도 유체 방정식을 풀어 방전 특성을 고려해야 하지만, 수송 방정식을 공간 평균한 0차원 모델링을 통해 전체적인 방전 특성을 조사하였으며, 사용된 모델식은 다음과 같다 [5,6].

$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_j k_{ij} n_e n_j + \sum_{j,k} k_{ijk} n_j n_k - n_i \nu_{loss,i} - n_i \left( \sum_j k_{ij} n_e + \sum_{i,k} k_{jik} n_k \right) + \frac{Q_{flow}}{\Omega} - \frac{V_p}{\Omega} n_i \quad (1)$$

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{2}{3} \frac{P_{abs}}{n\Omega} - \sum_j k_{iz} n_j \left( \frac{2}{3} \epsilon_{iz,j} + T_e \right) - \sum_j k_{at,j} n_j \left( \frac{2}{3} \epsilon_{at,j} - T_e \right) - \frac{2}{3} \sum_j k_{dis} n_j \epsilon_{dis,j} - \left( \frac{2}{3} \epsilon_{loss} + T_e \right) \nu_{loss} \quad (2)$$

$$\nu_{loss,i} = \frac{S}{\Omega} \sqrt{\frac{T_e}{M_i}} \quad (3)$$

$$\phi_f = -\frac{T_e}{e} \ln \left( \frac{n_e v_e^{th}/4}{\sum_i n_i \sqrt{T_e/M_i}} \right) \quad (4)$$

\* [전자우편] nsyoon@cbnu.ac.kr

Table 1. Considerd species for SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharges.

Input gas	SiH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub>
Neutral, radicals	Si, SiH, SiH <sub>2</sub> , SiH <sub>3</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>3</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>5</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , H, H <sub>2</sub>
Charged species	e, SiH <sup>+</sup> , SiH <sub>2</sub> <sup>+</sup> , SiH <sub>3</sub> <sup>+</sup> , SiH <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Si <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>+</sup> , H <sup>+</sup> , H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> <sup>+</sup>

$$\epsilon_{loss} = e\phi_f \quad (5)$$

여기서  $Q_{flow}$  와  $V_p$ 는 각각 가스유입량과 pumping speed를 나타낸다.  $n_i$ 는  $i$ 종 입자의 밀도이고,  $n_e$ 는 전자의 밀도,  $n_j$ 는  $j$ 종의 밀도,  $n_k$ 는  $k$ 종의 밀도이다.  $k_{ij}$ 는 전자가  $j$ 종의 입자와

충돌해  $j$ 종의 입자를 생성시키는 반응의 반응 계수,  $k_{ijk}$ 는  $j$ 종의 입자가  $k$ 종의 입자와 반응해  $i$ 종의 입자를 생성시킬 때의 반응 계수이다.  $P_{abs}$ 는 흡수된 파워,  $k_{iz,j}$ 는  $j$ 종 입자의 이온화 반응 계수,  $k_{dis,j}$ 는  $j$ 종 입자의 해리 반응 계수,  $\epsilon_{iz,j}$ 는 이온화 에너지,  $\epsilon_{dis,j}$ 는 해리 에너지,  $\epsilon_{at,j}$ 는 부착 에너지,  $\epsilon_i$ 는 챔버 벽으로의 손실 에너지를 나타낸다.  $\nu_i$ 는 손실주파수이며  $\phi_f$ 는 floating potential,  $\Omega$ 는 챔버의 체적,  $S$ 는 챔버의 표면적을 나타낸다. 그리고  $T_e$ 는 전자의 온도,  $M_i$ 는  $i$ 종 이온의 질량,  $m_e$ 는 전자의 질량을 나타낸다. 고려된 종과 반응식은 각각 Table 1과 Table 2와 같다 [7-13]. Table 2의  $E_{ion}$ 은 이온화 에너지를 나타내고  $A, B$ , 그리고

Table 2. Chemical reactions and rate constants for SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharge.

<Electron + Neutral>

	Reaction	A	B	C	$E_{ion}$
1	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sub>3</sub> <sup>+</sup> + H + 2e	3.06e-02	-1.3	184820.0	12.03
2	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sub>2</sub> <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> + 2e	2.69e-02	-1.2	179670.0	11.57
3	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> + H + 2e	1.07e-03	-1.2	189440.0	13.73
4	e + SiH <sub>4</sub> → H <sub>2</sub> <sup>+</sup> + SiH + H + 2e	1.89e-22	-0.4	22610.0	25.0
5	e + SiH <sub>4</sub> → H <sup>+</sup> + SiH <sub>2</sub> + H + 2e	9.49e-23	-0.4	20793.0	24.5
6	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sub>3</sub> + H + e	8.96e-03	-1.0	123500.0	-
7	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sub>2</sub> + 2H + e	1.83e-03	-1.0	123500.0	-
8	e + SiH <sub>4</sub> → SiH <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H	2.5e-13	0.0	0.0	-
9	e + Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → SiH <sub>4</sub> + SiH <sub>2</sub> + e	2.86e-10	0.0	0.0	-
10	e + Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → Si <sub>2</sub> H <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> + e	1.23e-10	0.0	0.0	-
11	e + Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → Si <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> + 2e	2.45e-11	0.0	0.0	10.8
12	e + Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → SiH <sub>3</sub> <sup>-</sup> + SiH <sub>3</sub>	9.45e-14	0.0	0.0	-
13	e + Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → SiH <sub>4</sub> + SiH <sub>2</sub> + e	2.86e-10	0.0	0.0	-
14	e + SiH <sub>3</sub> → SiH <sub>3</sub> <sup>+</sup> + 2e	2.25e-12	0.9	94804.0	8.74
15	e + SiH <sub>3</sub> → SiH <sub>2</sub> <sup>+</sup> + H + 2e	1.70e-11	0.6	133220.0	12.09
16	e + SiH <sub>2</sub> → SiH <sub>2</sub> <sup>+</sup> + 2e	9.16e-12	0.8	98701.0	8.92
17	e + SiH <sub>2</sub> → SiH <sup>+</sup> + H + 2e	4.39e-11	0.6	146510.0	11.09
18	e + SiH → SiH <sup>+</sup> + 2e	5.25e-11	0.6	92419.0	7.89
19	e + H <sub>2</sub> → 2H + e	1.7e-08	0.0	119940	-
20	e + H <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> <sup>+</sup> + 2e	1.33e-13	1.1	197550.0	15.4
21	e + H → H <sup>+</sup> + 2e	7.33e-12	0.7	169360.0	13.6

<Electron + Ion>

	Reaction	A	B	C
22	e + SiH <sup>+</sup> → Si + H	1.69e-7	0.0	0.0
23	e + SiH <sub>2</sub> <sup>+</sup> → SiH + H	1.82e-5	-0.5	0.0
24	e + SiH <sub>3</sub> <sup>+</sup> → SiH <sub>2</sub> + H	1.82e-5	-0.5	0.0
25	e + H <sub>2</sub> <sup>+</sup> → H + H	6.1e-6	-0.5	0.0
26	e + H <sup>+</sup> → H	1.89e-10	-0.7	0.0

## &lt;Ion + Neutral &amp; Ion + Ion&gt;

	<i>Reaction</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
56	$H^+ + SiH_4 \rightarrow SiH_3^+ + H_2$	5.00e-09	0.0	0.0
57	$H_2^+ + SiH_4 \rightarrow SiH_3^+ + H_2 + H$	3.60e-09	0.0	0.0
58	$SiH_2^+ + SiH_4 \rightarrow SiH_3^+ + SiH_3$	1.10e-09	0.0	0.0
59	$SiH_2^+ + SiH_4 \rightarrow Si_2H_4^+ + H_2$	2.5e-10	0.0	0.0
60	$SiH_2^+ + H_2 \rightarrow SiH_3^+ + H$	1.0e-10	0.0	0.0
61	$H_2^+ + SiH_4 \rightarrow SiH_2^+ + 2H_2$	6.6e-11	0.0	0.0
62	$SiH_3^- + SiH_3^+ \rightarrow SiH_3 + SiH_3$	5.0e-07	0.0	0.0
63	$SiH_3^- + SiH_2^+ \rightarrow SiH_3 + SiH_2$	1.2e-07	0.0	0.0
64	$SiH_3^- + Si_2H_4^+ \rightarrow SiH_3 + 2SiH_2$	1.0e-07	0.0	0.0
65	$SiH_3^- + H_2^+ \rightarrow SiH_3 + H_2$	4.8e-07	0.0	0.0

## &lt;Neutral + Neutral&gt;

	<i>Reaction</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
27	$H + SiH_4 \rightarrow H_2 + SiH_3$	2.44e-16	1.9	1102.0
28	$SiH_3 + SiH_3 \rightarrow SiH_2 + SiH_4$	2.99e-11	0.0	0.0
29	$SiH_2 + SiH_2 \rightarrow Si_2H_2 + H_2$	1.08e-09	0.0	0.0
30	$SiH_4 + SiH \rightarrow Si_2H_3 + H_2$	2.41e-12	0.0	1006.0
31	$SiH_2 + H \rightarrow SiH + H_2$	2.31e-11	0.0	0.0
32	$SiH_3 + H \rightarrow SiH_2 + H_2$	2.49e-11	0.0	1258.0
33	$H_2 + Si_2 \rightarrow SiH + SiH$	2.56e-11	0.0	20128.0
34	$H + Si_2 \rightarrow SiH + Si$	8.55e-11	0.0	2667.0
35	$Si + SiH_2 \rightarrow Si_2 + H_2$	2.49e-10	0.0	0.0
36	$Si + SiH_4 \rightarrow Si_2H_2 + H_2$	2.49e-10	0.0	3669.0
37	$H + H + H_2 \rightarrow H_2 + H_2$	2.54e-31	-0.6	0.0
38	$SiH_4 + Si_2H_5 \rightarrow Si_2H_6 + SiH_3$	5.0e-13	0.0	0.0
39	$Si_2H_6 + SiH_3 \rightarrow SiH_4 + Si_2H_5$	1.0e-12	0.0	0.0
40	$SiH_3 + SiH_2 \rightarrow Si_2H_5$	3.77e-13	0.0	0.0
41	$SiH_2 + Si \rightarrow Si_2H_2$	4.53e-13	0.0	0.0
42	$SiH_2 + SiH \rightarrow Si_2H_3$	7.22e-13	0.0	0.0
43	$SiH_2 + H \rightarrow SiH + H_2$	7.96e-13	0.0	0.0
44	$SiH_2 + H \rightarrow SiH_3$	1.11e-12	0.0	0.0
45	$SiH + H_2 \rightarrow SiH_3$	1.98e-12	0.0	0.0
46	$Si + H_2 \rightarrow SiH_2$	6.59e-12	0.0	0.0
47	$Si_2H_4 + H_2 \rightarrow Si_2H_6$	5.33e-13	0.0	0.0
48	$Si_2H_4 + H_2 \rightarrow SiH_4 + SiH_2$	3.56e-9	0.0	0.0
49	$Si_2H_3 + H_2 \rightarrow Si_2H_5$	1.7e-12	0.0	0.0
50	$Si_2H_2 + H_2 \rightarrow Si_2H_4$	1.4e-11	0.0	0.0
51	$Si_2H_2 + H \rightarrow Si_2H_3$	4.94e-11	0.0	0.0
52	$H + Si_2H_6 \rightarrow Si_2H_5 + H_2$	7.0e-12	0.0	0.0
53	$H + Si_2H_6 \rightarrow SiH_3 + SiH_4$	3.5e-12	0.0	0.0
54	$H_2 + SiH_2 \rightarrow SiH_4$	1.4e-14	0.0	0.0
55	$SiH_4 + SiH_2 \rightarrow Si_2H_6$	1.2e-11	0.0	0.0

$C$ 는 화학반응계수를 나타내며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$k = A(T)^B \exp(-C/T) \quad (6)$$

여기서  $T$ 는 온도이며 화학반응에 전자가 포함된 경우에는 전자온도를, 포함되지 않은 경우에는 중성종의 온도를 사용한다.

## 2. 2 파워 흡수 모델

전자가열 모델은 비정상 표피효과를 고려한 비충돌 전자 가열 모델을 적용하였고, 플라즈마에서 흡수한 파워는 입력된 파워에 비례하므로,

$$P_{abs} = \alpha P_{RF} \quad (7)$$

이다. 여기서  $P_{abs}$ 는 흡수된 파워,  $P_{RF}$ 는 안테나에 입력된 파워,  $\alpha$ 는 파워 흡수 계수이다.

$$\alpha = \frac{R_p}{R_a + R_p} \quad (8)$$

여기에서  $R_p$ 는 플라즈마 저항,  $R_a$ 는 안테나 저항이며,  $R_p$ 는 낮은 압력에서 비충돌 상황까지 고려된 2차원 전자 가열 이론을 기반으로 계산되었다 [3,4]. 플라즈마 저항은 플라즈마 임피던스인  $Z_p$ 의 실수성분이며 플라즈마 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_p = -i \frac{16\pi^2}{c^2} \frac{\omega}{L_p R^2} \quad (9)$$

$$S_m = \frac{\sum_{j=1}^{\infty} S_m \sum_j r_{c,j}^2 J_1^2(p_m r_{c,j}) \sinh^2[\beta_m(L_s + z_{c,j})]}{|\sinh(\beta_m L_s) + (2\beta_m/L_p) \cosh(\beta_m L_s) S_m|^2}$$

$$S_m = \frac{(S_m^{(1)})^2 - (S_m^{(2)})^2}{S_m^{(1)}} \quad (10)$$

$$S_m^{(1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{D_{mn}}, \quad S_m^{(2)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{D_{mn}} \quad (11)$$

$$D_{mn} = p_m^2 + q_n^2 - k^2 - \frac{4\pi k}{c} i \sqrt{2\pi} \sigma_n \quad (12)$$

여기서  $c$ 는 빛속도,  $L_p$ 는 플라즈마의 길이,  $L_s$ 는 shield cap의 길이,  $R$ 은 챔버의 반경, 그리고  $\omega$ 는 파동 주파수를 나타낸다.  $r_{c,j}$ 와  $z_{c,j}$ 는 코일의 좌표이며  $J_1$ 은 1차 Bessel 함수를 나타낸다.  $\beta_m = \sqrt{p_m^2 - k^2}$ 으로  $k = \omega/c$ ,  $p_m \equiv \alpha_{1,m}/R$ ,  $q_n \equiv n\pi/L_p$ ,  $\sigma_n$ 은 플라즈마 도전율, 그리고  $\alpha_{1,m}$ 은  $J_1$ 의  $m$ 번째 근이다.

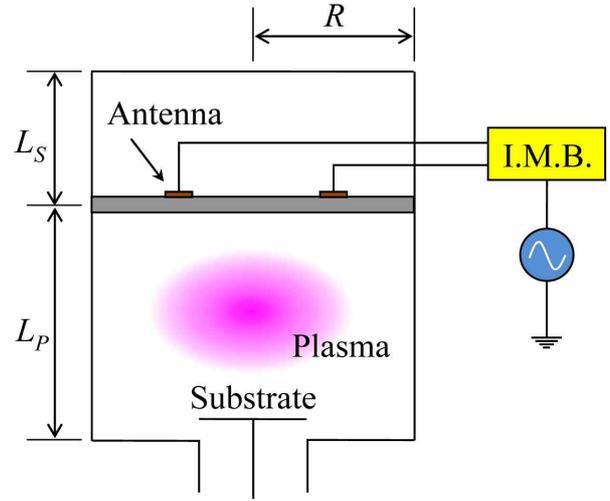


Figure 1. A schematic diagram of ICP source.

## III. 전산모사 결과

Fig. 1은 ICP 장치의 개략도이다.  $R = 25$  cm,  $L_p = 10$  cm,  $L_s = 10$  cm의 원통형 반응로에서 전산모사가 이루어졌다. 주파수는 13.56 MHz이고 안테나 저항은 약 0.221 mΩ이며 주입되는 가스의 비율, 파워, 그리고 압력을 변화시켜가며 이온, 중성종, 라디칼 및 전자온도의 의존성을 조사하였다.

### 1. 1 가스주입비율에 대한 의존성

파워, 압력, 그리고 가스 유량을 각각 100 W, 100

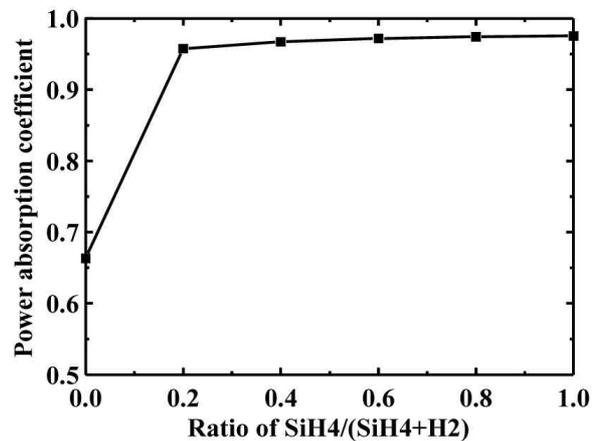


Figure 2. Dependences of the power absorption coefficient on the gas ratio.

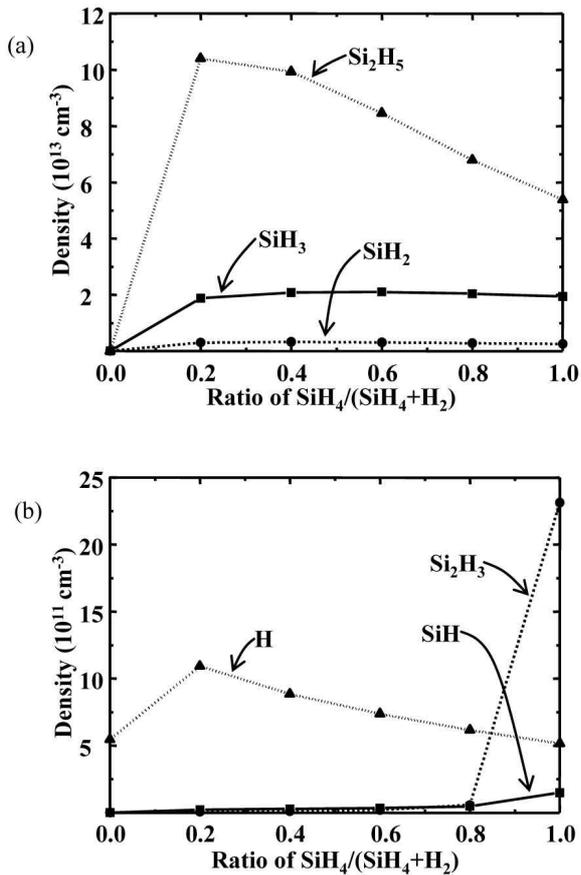


Figure 3. Density dependences of (a) the major and (b) the minor radicals on the gas ratio.

mTorr, 그리고 500 sccm으로 고정하고 주입되는 가스 비율에 대한 파워흡수계수 및 밀도 의존성을 조사하였다.

Fig. 2는 가스주입비율에 따른 파워흡수계수의 의존성으로 SiH<sub>4</sub>의 주입비율이 증가함에 따라 파워흡수계수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3의 (a)와 (b) 가스주입비율에 따른 주요 라디칼 밀도의 의존성으로, SiH<sub>4</sub>가 주입된 이후에 Si<sub>i</sub>H<sub>k</sub> 계열의 라디칼이 생성되는 것을 확인할 수 있고 SiH<sub>2</sub>와 SiH<sub>3</sub>의 밀도는 가스주입비율에 상관없이 거의 일정한 것을 확인할 수 있다. Si<sub>2</sub>H<sub>5</sub>와 H는 밀도가 감소하는 의존성을 보이고, Si<sub>2</sub>H<sub>3</sub>의 밀도는 SiH<sub>4</sub>의 주입 비율이 1일 때 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 가스주입비율에 대한 주요 이온밀도의 의존성으로, SiH<sub>4</sub>가 추가된 이후에 SiH<sub>2</sub><sup>+</sup>, SiH<sup>+</sup>, 그리고 SiH<sub>3</sub><sup>+</sup>의 밀도는 감소하지만 Si<sub>2</sub>H<sub>4</sub><sup>+</sup>의 밀도는 증가하는 것을 확인할 수 있다.

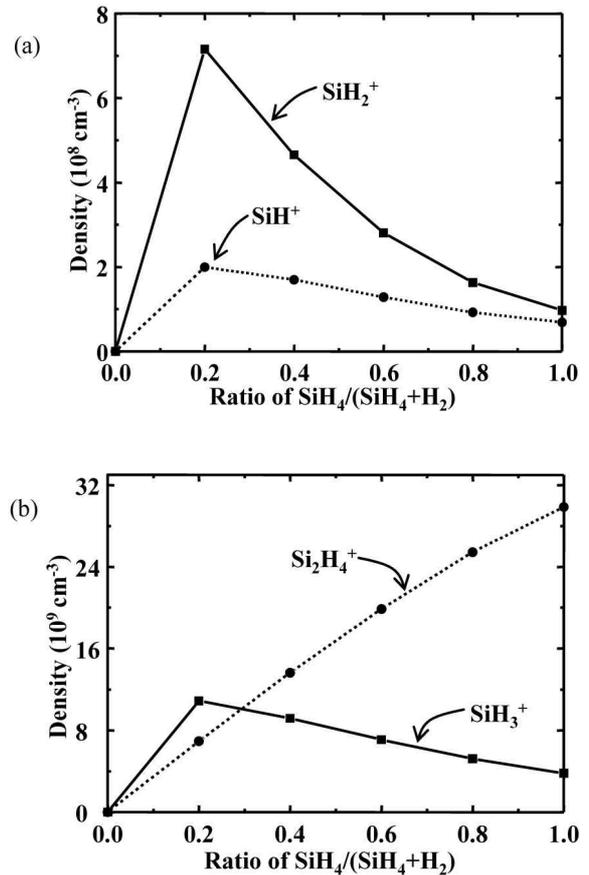


Figure 4. Density dependences of (a) the major and (b) the minor charged particles on the gas ratio.

Fig. 5는 가스주입비율에 따른 전자온도 의존성으로, SiH<sub>4</sub>의 주입비율이 증가함에 따라 전자온도가 감소하고, 압력이 커짐에 따라 전자온도가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

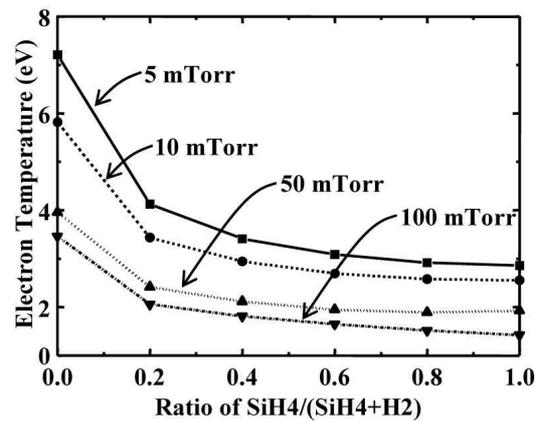


Figure 5. Dependences of the electron temperature on the gas ratio.

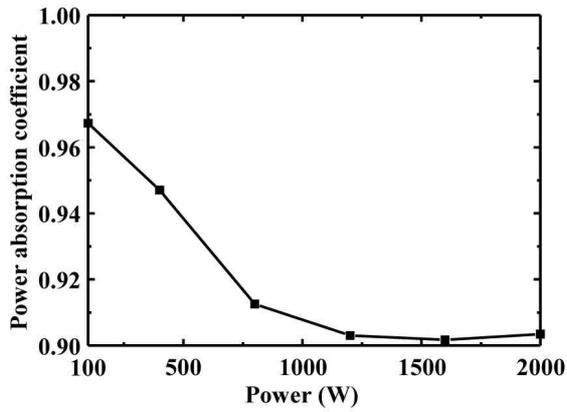


Figure 6. Dependences of the power absorption coefficient on the power.

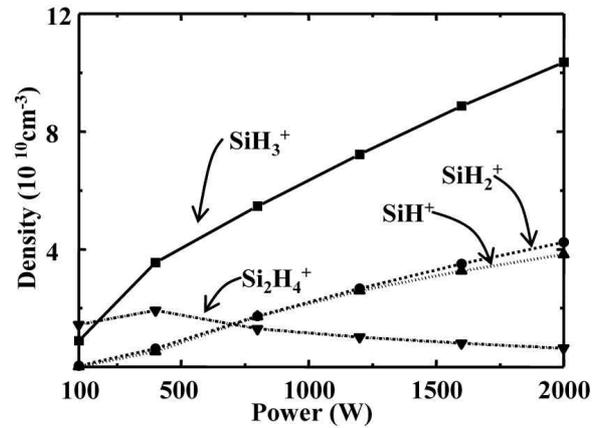


Figure 8. Density dependences of the charged particles on the power.

### 2. 2 파워에 대한 의존성

Fig. 6, Fig. 7의 (a), (b), 그리고 8은 SiH<sub>4</sub>가 200 sccm, H<sub>2</sub>가 300 sccm 주입되고, 압력이 100 mTorr일 때 파워흡

수계수, 라디칼과 하전 입자 밀도의 파워 의존성으로 파워가 증가함에 따라 파워흡수계수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. SiH<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>, SiH, 그리고 Si<sub>2</sub>H<sub>3</sub>는 파워가 증가함에 따라 밀도가 증가하다 감소하는 의존성을 보인다. 파워가 증가함에 따라 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>는 밀도가 감소하고, Si<sub>2</sub>H<sub>5</sub>의 밀도는 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 Si<sub>2</sub>H<sub>3</sub>의 밀도가 400 W에서 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 파워가 증가함에 따라 Si<sub>2</sub>H<sub>4</sub><sup>+</sup>의 밀도는 증가하다 감소하고, 나머지의 밀도는 증가하는 의존성을 보인다.

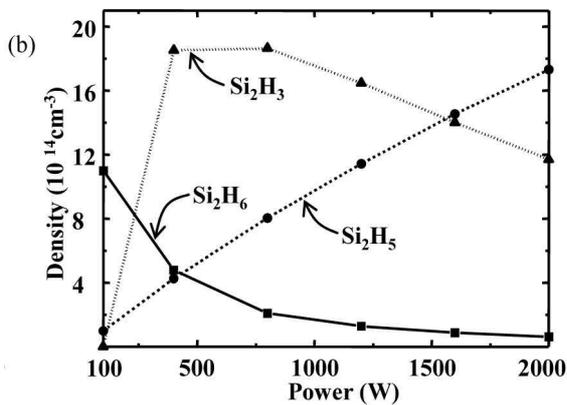
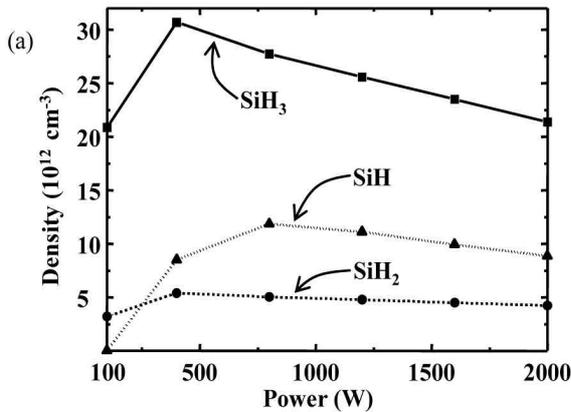


Figure 7. Density dependences of (a) the major and (b) the minor charged particles on the power.

### 3. 3 압력에 대한 의존성

Fig. 9, Fig. 10의 (a), (b), 그리고 Fig. 11은 SiH<sub>4</sub>가 200 sccm, H<sub>2</sub>가 300 sccm 주입되고, 파워가 100 W일 때

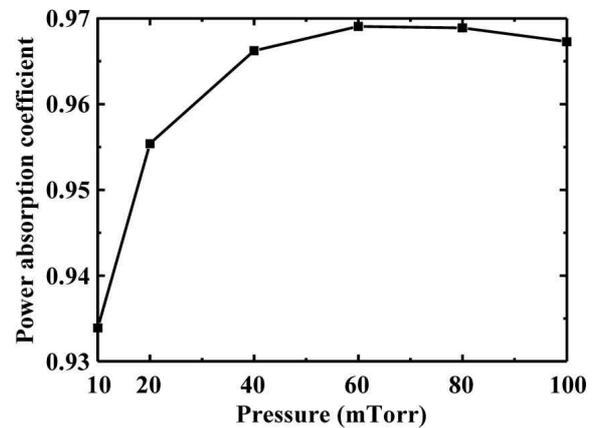


Figure 9. Dependences of the power absorption coefficient on the pressure.

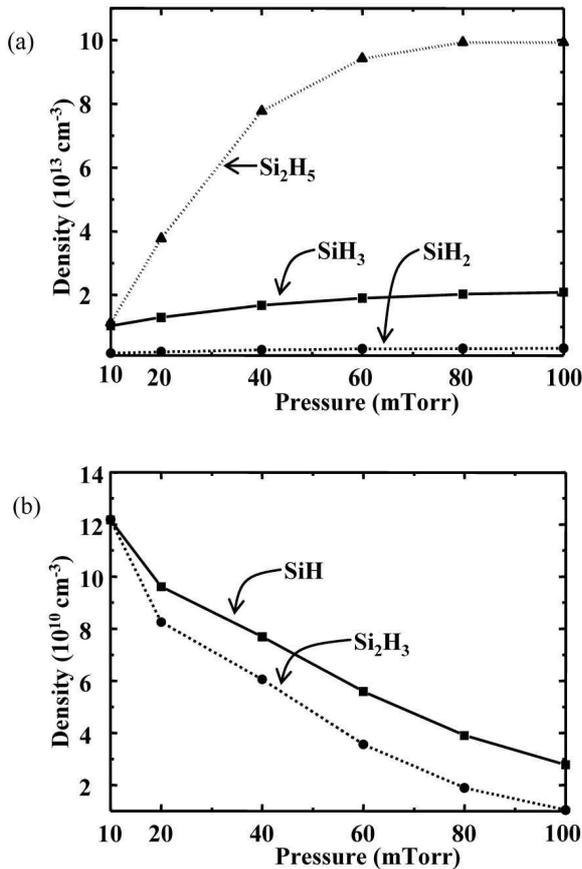


Figure 10. Density dependences of (a) the major and (b) the minor neutrals on the pressure.

파워흡수계수, 라디칼과 하전 입자 밀도의 압력 의존성이 다. 압력이 증가함에 따라 파워흡수계수가 증가하다 감소하는 의존성을 보인다.  $\text{SiH}_3$ ,  $\text{SiH}_2$ 는 밀도가 증가하고,  $\text{SiH}$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_3$ 는 밀도가 감소하고,  $\text{Si}_2\text{H}_5$ 는 압력이 증가함에

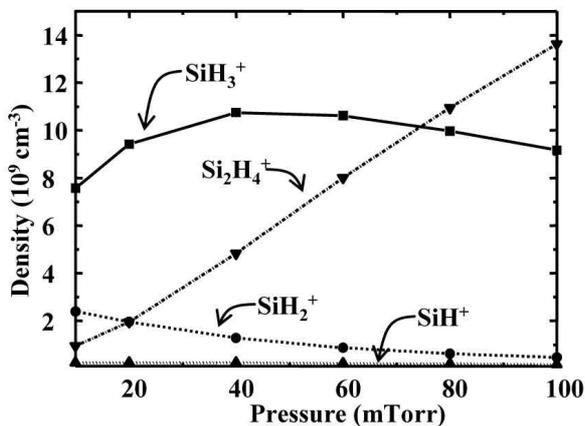


Figure 11. Density dependences of the charged particles on the pressure.

따라 밀도가 증가하지만 증가폭이 감소하는 의존성을 보인다. 압력이 증가함에 따라  $\text{SiH}^+$ 는 밀도 변화가 거의 없고,  $\text{SiH}_3^+$ 의 밀도는 증가하다가 감소한다.  $\text{SiH}_2^+$ 는 밀도가 감소하는 반면에  $\text{Si}_2\text{H}_4^+$ 는 밀도가 증가하는 의존성을 보인다.

#### IV. 결 론

비정상 표피효과를 고려한 파워 흡수 모델을 적용한 유도 결합 플라즈마 장치의  $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  방전에 대한 공간 평균 전산모사가 이루어졌으며 파워와 압력, 주입되는 가스의 비율에 대한 이온, 중성종의 밀도 변화 및 전자 온도 의존성을 조사하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부가 지원하는 국가 반도체 연구개발 사업인 “시스템집적반도체기반기술개발사업(시스템IC2010)”을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- [1] D. C. Kwon, N. S. Yoon, J. H. Han, and J. W. Shon, *Current Appl. Phys.* **9**(2), pp. 546-550 (2009)
- [2] Hideshi Nomura, Kelichi Akimoto, Akihiro Kono, and Toshio Goto, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **28** (1995).
- [3] N. S. Yoon, S. M. Hwang, and D. I. Choi, *Phys. Rev. E*, **55**, 7536 (1997).
- [4] 정봉삼, 윤남식, *한국진공학회지*, 제 17권 5호, pp. 419-425 (2008).
- [5] N. S. Yoon, S. S. Kim, C. S. Chang, and Duk-In Choi, *J. Korean Phys. Soc.* **28**, 2, pp. 172(1995).
- [6] S. S. Kim, S. Hamaguchi, N. S. Yoon, C. S. Chang, Y. D. Lee, and S. H. Ku, *Physics of Plasmas*, **8**, 1384(2001).
- [7] E. Meeks, R. S. Larson, P. Ho, S. M. Han, E. Edelberg, and E. S. Aydil, *J. Vac. Sci. Technol.*

- A **16**(2), 544, (1998)
- [8] M. Kushner, J. Appl. Phys. **63**(8), 2532, (1988)
- [9] K. D. Bleecker, D. Herrebout, A. Bogaerts, G. Gijbels, and P. Dscamps, J. Phys. D: Appl. Phys. **36**, 1826, (2003)
- [10] G. J. Niehuis, W. J. Goedheer, E. A. G. Hans, W. G. J. H. M. van Sark, and J. Bezemer, J. Appl. Phys. **82**(5), 2060 (1997)
- [11] J. Perrin, O. Leroy, and M. C. Bordage, Contrib. Plasma Phys. **36**, 3 (1996)
- [12] J. L. Giuliani *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci. **27**(5), 1317 (1999)
- [13] 배상현, 권득철, 윤남식, 한국진공학회지, 제 17권 5호, pp. 426-434 (2008).

## **A Global Simulation of SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Discharge in a Planar-type Inductively Coupled Plasma Source**

Won-Gi Lee, Deuk-Chul Kwon, and Nam-Sik Yoon\*

*Department of electrical engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763*

(Received October 22, 2009, Revised November 20, 2009, Accepted November 22, 2009)

A global simulation of SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharge is conducted in a planar-type inductively coupled plasma (ICP) discharge. We numerically solve a set of spatially averaged fluid equations for electrons, positive ions, negative ions, neutrals, and radicals. Absorbed power by electrons is determined by an analytic electron heating theory including the anomalous skin effect. Also, we investigate functional dependence of various discharge quantities such as the densities of various species and the temperature of electron on external controllable parameters such as ratio between SiH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>, power and pressure.

Keywords : Inductive coupled plasma, Zero-dimensional simulation, Anomalous skin effect

\* [E-mail] nsyoon@cbnu.ac.kr